



## Gnomónica, Relojes de Sol y Divagaciones

Dedicado especialmente a Ángel Valls Garzón. Estudioso de los Relojes de Sol Bifilar

**CARPE DIEM**, es una locución latina del poeta romano Horacio (Odas, I, 11) que podemos traducir por “Aprovecha el Momento”, no malgastes el tiempo que te ha sido concedido.

**Carpe diem quam minimum credula postero**, que podríamos equiparar a nuestro “No dejes para mañana lo que puedes hacer hoy”.

Como toda acción tiene su reacción, mi amigo y antiguo compañero de trabajo Manel Catalá, era un acérrimo defensor del “No hagas hoy lo que puedes dejar para mañana” o aquello de “Seamos puntuales al salir, ya que no lo hemos sido al entrar” y un largo etc. que daría suficiente materia para editar tres o cuatro volúmenes.

Gnomónica es la ciencia que elabora teorías y reúne conocimientos sobre los relojes de sol y estudia la división del arco diurno o porción de circunferencia de la esfera celeste que aparentemente recorre el sol desde el orto al ocaso.

Se divide en arcos de  $15^\circ$  para determinar las horas de luz del día solar. En verano, el arco diurno, supera un valor superior a los  $180^\circ$  y esto determina que el “día” sea más largo (solsticio de verano). En los equinoccios su valor es exactamente de  $180^\circ$ , siendo el arco diurno igual al nocturno. Y es inferior a  $180^\circ$  en el solsticio de invierno, por eso en esta estación tenemos menos horas de luz solar.

Este valor cambia con la latitud del lugar y también cambia cada día porque cada día cambia la declinación del sol. Así, conociendo la posición de un lugar, es decir su latitud, y la declinación del sol para una fecha determinada, podemos hallar las horas que el sol se encontrará encima del horizonte.

¿Por qué se divide en arcos de  $15^\circ$  nos preguntaremos? Sabemos que la circunferencia tiene 360 grados y que el día lo hemos dividido en 24 horas, si dividimos los 360 grados de la circunferencia entre las 24 horas del día, el resultado es 15. Así hemos obtenido una correspondencia que nos dice que una hora es equivalente a 15 grados, un minuto de tiempo a 15 minutos de arco e igual proporción entre los segundos de tiempo y arco.

Y nos volvemos a preguntar ¿Por qué se ha dividido la circunferencia en 360 grados? Porque es el número con más divisores.

Efectivamente 360 es divisible por: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 20, 24, 30, 36, 40, 45, 60, 72, 90, 120, 180 y 360.

A primera vista pudiera parecer que lo más lógico hubiera sido haber dividido la circunferencia en 400 partes, ya que la circunferencia tiene 4 cuadrantes. Veamos cuantos divisores tiene la cifra 400.

400 es divisible por: 1, 2, 4, 5, 8, 10, 16, 20, 25, 40, 50, 80, 100, 200 y 400.

Vemos que 360 tiene 24 divisores, mientras que 400 sólo tiene 15 y este es el motivo de haber dividido la circunferencia en 360 partes.

Un error muy común es no utilizar debidamente la notación de grados, horas, minutos y segundos.

Cuando nos referimos a una magnitud de arco, por ejemplo quince grados veintidós minutos cuarenta segundos la forma correcta de escribirlo es:  **$15^{\circ} 22' 40''$** , simplemente viendo esta forma de notación ya sabemos que estamos hablando de arco.

Si por el contrario nos referimos a que un acontecimiento tuvo lugar a las quince horas, veintidós minutos y cuarenta segundos, la forma correcta de escribirlo es:  **$15^h 22' 40''$** , igualmente con un simple golpe de vista sabemos que nos estamos refiriendo a tiempo.

La historia de la relojería es casi tan antigua como la humanidad misma, al principio el hombre se guiaba por su reloj biológico, comía cuando tenía hambre (o cuando disponía de alimento), dormía cuando tenía sueño y en general todo estaba supeditado a sus funciones biológicas, programadas, en cierta forma por el sol.



Cuando los primeros pobladores crecieron en número y se formaron diversas tribus y los pueblos de diseminaron, surgió la necesidad de relacionarse entre sí y establecer un sistema de contar el tiempo, al principio fue las veces que debía aparecer el sol sobre el horizonte, otros pueblos utilizaron la luna, pero, se hizo necesario poder contar el tiempo en períodos más breves.

Ya los primeros pobladores habían observado que cuando clavaban sus palos de caza en el suelo, este proyectaba una sombra que era diferente a lo largo del día según la posición del sol y además variaba con la época del año.

Fue así como el hombre creó el gnomon que era un bastón clavado perpendicularmente en el suelo igual que los palos de caza. En la tierra se trazaron unos surcos o círculos con piedras para determinar los diferentes momentos del día. Pronto el bastón fue sustituido por grandes obelisco.

Hace más de 2000 años Nemrod El Cazador, rey de Babilonia, constructor de la Torre de Babel y sobrino de Moisés, fue el primero en dividir el día y la noche en doce horas.





Los gnómones quedaron desplazados por los meridianos y estos, con el avance del conocimiento sobre el eje de rotación de la tierra y otros datos científicos y astronómicos calculados con precisión, se

Y en ese momento el hombre dejó su reloj biológico y los actos de su vida se vieron programados por la incipiente ciencia o técnica de la relojería, empezando una nueva época de tiranía y sometimiento.

El dominio de las máquinas creadas por el hombre esclavizando al propio hombre, su creador.

Según cuenta Heródoto de Halicarnaso, historiador y geógrafo griego (484-425 a.C.), el Gnomon fue introducido en Grecia por Anaximandro.

1500 años antes de Cristo los egipcios construyeron el gnomo más antiguo del que se tienen noticias y fue el rey Achaz quien mandó construir un cuadrante solar en Jerusalén en el siglo VIII antes de Cristo.



vieron relegados por el Cuadrante Solar.

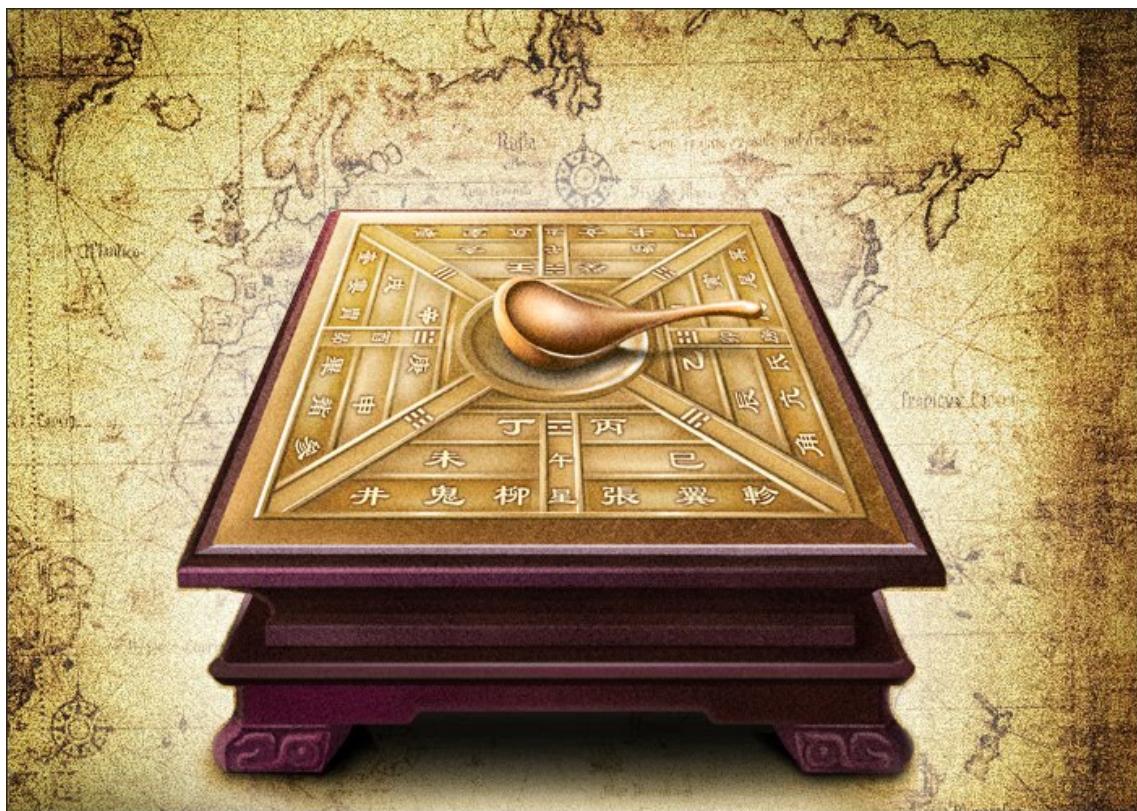
Este estaba formado por un estílo y una base esférica en la que se marcaban líneas horarias para señalar los distintos momentos del día.

La posición del cuadrante era tal que permitía proyectar una sombra idéntica a la misma hora cualquier día del año.



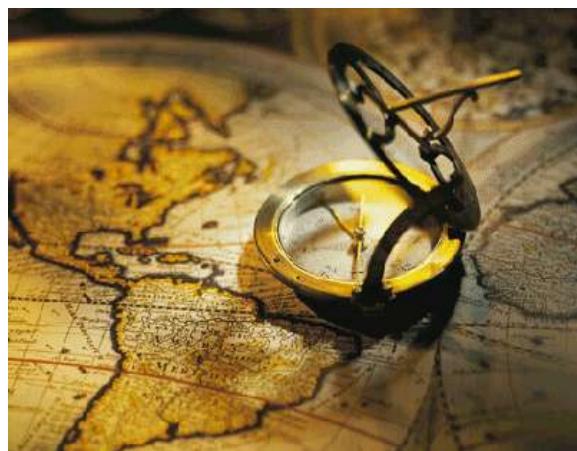
Vinieron después el Cuadrante Ecuatorial y más tarde el Cuadrante Universal que se podía utilizar en cualquier lugar en combinación con la indicación de una Brújula.

Aseguran los chinos que fueron ellos los descubridores de la brújula 2.500 años antes de Cristo, es probable que fuese así. La brújula de los chinos consistía en



un recipiente con agua en el que flotaba un trocito de caña y sobre esta se depositaba una aguja magnética.

Para que fuese eficaz el recipiente debía estar en una superficie estable, así que Marco Polo, viendo las posibilidades de este instrumento la introdujo en Europa y el armero Flavio Gioja de Positano, en la provincia de Salerno (Italia), la perfeccionó, suspendiendo la aguja sobre una púa o estilete de forma similar a la que actualmente conserva. Más tarde apareció la Rosa de los Vientos, disco con divisiones y subdivisiones que señalaba 32 direcciones. Esta aguja náutica se utilizó hasta finales del siglo XIX.



Pero realmente el gran avance práctico que permitió utilizar el compás o aguja náutica a bordo de los barcos fue el introducido por Sir Williams Thomson (Lord Kelvin), utilizando ocho hilos delgados de acero sujetos en la rosa de los vientos rellenada con aceite. Así se logró eliminar la influencia del movimiento del barco en las tormentas.

La Clepsidra es un reloj de agua que utilizaban los antiguos egipcios y lo utilizaban especialmente durante la noche consistente en una vasija que contenía agua. Disponía de un orificio en su base de un tamaño adecuado que permitía una salida constante del líquido en un tiempo fijado previamente. Además el recipiente tenía en su interior una serie de marcas para determinar los períodos de la noche.



tiempo durante muchos siglos.

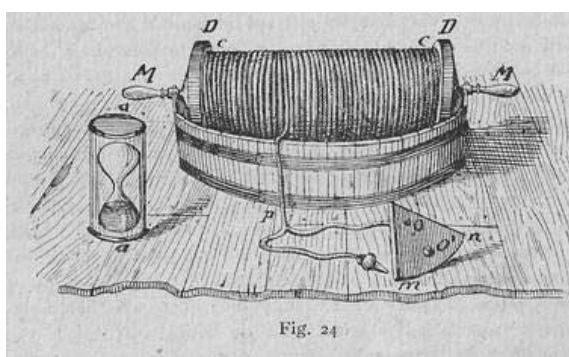
También a los relojes de arena se les llama Clepsidra. Se han construido relojes de arena de proporciones enormes para medir largos períodos de tiempo. El reloj de arena o Clepsidra, está formado por dos ampolletas de vidrio de forma cónica unidas por su vértice que a través de un orificio de superficie determinada comunica ambas partes.



Su interior está lleno de arena de sílice que permanece siempre seca. Cuando se quiere medir un período determinado se da media vuelta a la ampolla y la arena por la acción de la gravedad se traslada del cono superior al inferior. Según el tamaño de la ampolla, la cantidad de arena de su interior y el agujero que comunica ambas partes, así será el tiempo que tarde toda la arena en pasar del cono superior al inferior.

El reloj de arena fue un instrumento muy valioso en la determinación de la velocidad de un buque, hasta que la corredera mecánica desplazó a la corredera de barquilla. El reloj de arena utilizado a bordo de los barcos, llamado ampolla, medía 30 segundos y esto está justificado por lo que explicaremos más adelante.

La corredera de barquilla estaba formada por una tabla de forma triangular lastrada en uno de sus vértices que se lanzaba al agua, el peso del lastre hacia que flotara perpendicular a la marcha con lo cual se detenía quedando parada y tiraba de un fino cabo que estaba enrollado en un carrete llamado carrete.



Sabemos que un cuadrante del meridiano terrestre tiene diez millones de metros, por esta razón definimos al metro como la diez millonésima parte del cuadrante terrestre y sabemos que ese mismo cuadrante tiene 90 grados y cada grado 60 minutos, así el cuadrante mide 5.400 minutos.

También sabemos que una milla marina es equivalente a un minuto de arco del

cuadrante terrestre. Si dividimos los diez millones de metros entre cinco mil cuatrocientos minutos tendremos que la milla marina equivale a 1.851,85 metros, 1.852 metros como valor aceptado universalmente.

Un barco que navegue a la velocidad de un nudo (una milla por hora), en una hora habrá recorrido 1.852 metros o lo que es lo mismo 30,86 metros por minuto, o 15,43 metros cada medio minuto o sea cada treinta segundos, que es el tiempo que mide la ampolleta.

Si hacemos un nudo cada 15,43 metros en el cabo que une la barquilla con el carretel y contamos el número de nudos que pasan en el tiempo que la ampolleta tarda en dejar pasar la arena de sílice del cono superior al inferior obtendremos la velocidad del barco.

Cada vez que el capitán de un buque deseaba saber la velocidad a la que estaba navegando, o consideraba que las condiciones de viento y mar habían cambiado mandaba tomar la velocidad.

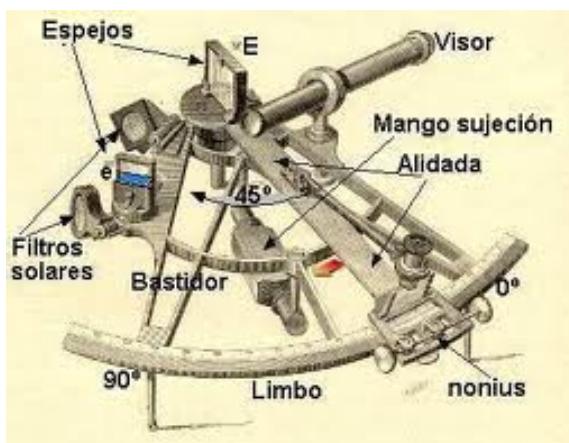
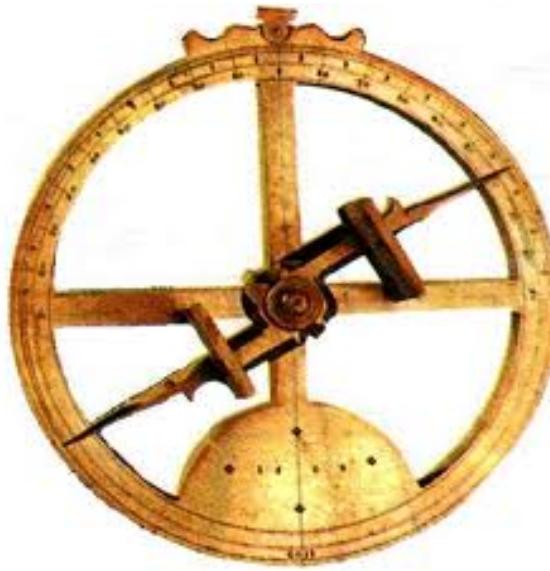
Esta operación estaba encomendada a dos marineros, uno se hacía cargo de la corredera lanzándola al agua y dejando deslizar suavemente el cabo a través de sus dedos y el otro de dar media vuelta a la ampolleta y avisar cuando había caído toda la arena.

Se lanzaba la corredera al agua y cuando se consideraba que ésta se había parado y por tanto permanecía inmóvil y justamente en el instante en que pasaba un nudo entre sus dedos, el marinero gritaba "Top". En ese momento el marinero encargado de la ampolleta le daba media vuelta fluyendo la arena del cono superior al inferior. El marinero a cargo de la corredera, en voz alta, contaba los nudos que iban pasando por su mano. En el momento en que el último grano de arena pasaba del cono superior al inferior, se gritaba, "Top" y el número de nudos que se habían deslizado por la mano del marinero era la velocidad del barco en ese momento.

Vamos a suponer que en los treinta segundos que tarda la arena en pasar de un cono al otro el marinero ha contado siete nudos. Quiere decir que han pasado 108,01 metros ( $15,43 \times 7$ ). En un minuto el barco habrá recorrido el doble o sea 216,02 y en una hora 12.961,20 ( $216,02 \times 60$ ). Si dividimos esos 12.961,20 entre 1.852, que como sabemos son los metros que mide la milla marina, obtendremos 7 que es la velocidad del barco.

Este es el origen del por qué en náutica para indicar la velocidad de un barco lo hacemos con la expresión "nudos" y entendemos que nos referimos a una hora. Así pues, expresar la velocidad de un buque en "nudos por hora" o "millas por hora" es una de las peores herejías que se puedan cometer que sólo puede ser limpiada con el fuego purificador de la hoguera.

Hoy en día, cuando el GPS (Global Positioning System: sistema de posicionamiento global), ha formado parte de nuestro lenguaje cotidiano, nos parece normal que un móvil (barco, avión, coche, etc.) conozca su posición tridimensional (longitud, latitud y elevación) con precisión milimétrica en cualquier instante del día o de la noche, esté sereno o nublado, pero hubo un tiempo en que no era así.



Desde hace muchos siglos el hombre no tenía problemas en hallar su latitud, pues le bastaba con observar el sol al mediodía y así obtener la altura meridiana, es decir el arco que forma una línea imaginaria que parte del astro, pasa por el ojo del observador y termina en un punto del horizonte. Este ángulo se medía con el cuadrante cuya graduación es un cuarto de circunferencia. En el siglo XI hace su aparición el "Astrolabio" con el cual puede medirse de una forma muy precisa la altura del sol o de un grupo de estrellas cuando alcanzan una altura determinada, consiguiéndose hallar la latitud con gran exactitud.

En 1730 hace su aparición el "Sextante" instrumento que adquiere diferentes nombres según el arco máximo que es capaz de medir, sextante si su sector circular vale 60 grados, quintante, si vale 72 grados y octantes si su sector circular abarca 45 grados, pero genéricamente, siempre utilizamos la expresión sextante, la lectura que obtenemos es nuestra latitud estimada. Decimos estimada porque es aproximada ya que debemos aplicar una serie de correcciones para compensar, inevitablemente, los errores que se cometan. Sin pretender se

exhaustivos comentemos brevemente las correcciones o errores más significativos.

En primer lugar tenemos el error de índice, que es un error propio de cada instrumento debido a la menor o mayor precisión en la fabricación del instrumento que el fabricante determina en su laboratorio y extiende un certificado para cada aparato.

La refracción astronómica que es debido al cambio de dirección que experimenta un rayo de luz cuando atraviesa un fluido de diferente densidad.

La depresión del horizonte que depende de la altura del ojo del observador, mientras más alto, más campo abarca su visión.

La paralaje sería la diferencia entre la altura de observar el astro desde el centro de la tierra o hacerlo desde su superficie, siendo máxima en el ecuador y nula en los polos.

Semidiámetro es el error que se comete al medir la altura de un astro tomando como referencia uno de sus límbos, inferior o superior, en lugar de hacerlo desde su centro.

Otras correcciones son aplicables cuando se observa la luna, planetas o estrellas.

Hay múltiples sistemas para hallar la latitud en la mar y desde la edad media nunca ha representado un problema su determinación, pues no sólo el sol nos permite hallar la latitud sino también la podemos hallar por la luna, las estrellas o los planetas. De entre las estrellas desde tiempos inmemoriales el hombre ha escogido la estrella polar.

Hemos dicho al principio que una milla marina es equivalente a un minuto de arco, luego si un grado tiene 60 minutos, cada 60 millas que avancemos en dirección este u oeste nos aleja un grado de nuestro punto de partida, así conociendo la longitud de nuestro puerto de salida, cada 60 millas navegadas aumentaremos en un grado nuestra longitud.

Este sistema sería exacto si el barco fuese capaz de seguir perfectamente su dirección este-oeste o viceversa, pero la mar no es un medio sólido y por tanto intervienen factores que debemos tener en cuenta y corregir todo lo posible. Estos factores son el abatimiento, debido a la acción del viento sobre las velas, el casco y la superestructura y la deriva que la corriente marina ejerce sobre la obra viva del barco desviando ambas fuerzas a nuestro barco de la dirección este-oeste que queremos seguir.

¿Además qué pasa si el barco navega a un rumbo de 45 grados?, pues que hemos de tener en cuenta los incrementos que acumulamos tanto en la latitud como en la longitud, teniendo en cuenta la distancia recorrida y que ya sabemos cómo se media.

A este sistema de navegación lo llamamos “navegación de estima” porque la situación de llegada es eso... estimada o sea aproximada. Pero, en tanto en cuanto, no dispongamos de otro más fiable lo utilizamos como sistema auxiliar.

Así que para poder calcular la longitud con un grado de exactitud suficiente se hacía necesario poder medir el tiempo con gran precisión naciendo la necesidad del cronómetro marino.

Los relojes de péndulo no servían para conservar la hora a bordo de un barco ya que los balanceos de la mar alteraban su marcha llegando incluso a destrozarlos, por este motivo las grandes potencias necesitaban imperiosamente un reloj capaz de aguantar las condiciones propias de un barco de las características de aquella época.

Piénsese, por ejemplo, en los ingleses con sus viajes a la India, Australia o China, los españoles a Sudamérica, el Caribe o las Filipinas, holandeses, franceses o portugueses cruzando los cinco océanos transportando oro, especies, té, marfil y otras mercaderías como tejidos exóticos, sin saber a ciencia cierta donde se encontraban.

En la época a la que nos referimos había abundante cartografía y con una exactitud sorprendente, se sabían las coordenadas del puerto de salida y el rumbo hacia el puerto de llegada, se navegaba por estima, pero sin ningún medio para corregir la longitud, a los pocos días de navegación la situación del buque calculada por los pilotos era una pura conjeta.

Para poder calcular la longitud de una forma simple y precisa era necesario llevar a bordo un reloj que conservara la hora del puerto de salida – un reloj no da la hora, la conserva- así obtenida la hora por la observación del sol, se hallaba la diferencia con la hora del cronómetro y esta diferencia se podía traducir en grados de longitud que aplicados a la longitud de salida o la última calculada nos daba la nueva longitud en la que se encontraba el barco.

La dificultad estribaba en conseguir, con los medios de la época, un reloj fiable capaz de conservar la hora con la suficiente precisión y, también, capaz de resistir las condiciones que se dan a bordo de un barco.

Durante el reinado de Ana se presentó una petición por parte de varios capitanes de los barcos de Su Majestad y comerciantes para hallar un método que permitiese determinar la longitud ofreciéndose un premio a su inventor de 10.000 libras si el error era de hasta 60 millas, 15.000 si el error estaba dentro de las 40 millas y 20.000 si este error no pasaba de 30 millas.

Muchos fueron los que optaron a este premio, científicos de la época de gran renombre, pero fue un modesto carpintero, John Harrison, quien obtuvo el premio. Poco se sabe de la formación académica de Harrison, sin embargo se cree que era más bien escasa por su dificultad de expresarse tanto oralmente como por escrito.

En lo que si se está de acuerdo es que era un gran curioso de la mecánica que dominaba con gran maestría a pesar de su formación como carpintero, así que este carpintero nacido en Foulby en 1693, siendo un niño se propuso hacer un reloj con cuerda para ocho días, tarea que culminó cuando tenía 22 años. El reloj todavía funciona y está expuesto en el Museo de Patentes en South Kensington en el que reza la siguiente inscripción:

***"Este reloj se construyó en Barrow, condado de Lincoln, en el año 1715 por John Harrison, célebre inventor de un contador de tiempo ó cronómetro marino, que ganó la recompensa de 20.000 libras, ofrecidas por el consejo de Longitudes A. D. 1765"***

Aún cuando el consejo de Longitudes reconoció que era acreedor a cobrar el premio, hubieron de transcurrir más de 40 años y construir hasta cuatro cronómetros para que Harrison, finalmente, cobrase su premio.

En su reloj, Harrison había sustituido el péndulo por un conjunto de volante y escape, además había tenido en cuenta la diferencia de dilatación del acero y el bronce para compensar el error producido por el frío y el calor. En su último perfeccionamiento había instalado una cuerda auxiliar que tenía por misión que el reloj continuase su marcha en el proceso de dar cuerda ya que en esta situación el resorte principal no ejercía presión alguna sobre el escape y el reloj, siquiera por breves momentos, detenía su marcha.

A partir del momento en que el cronómetro marino se fue implantando a bordo de los barcos, los capitanes y pilotos ya estaban en disposición de calcular la longitud y la latitud. Así por la mañana se tomaba la longitud y al mediodía con la altura meridiana del sol, se calculaba la latitud.

La longitud calculada por la mañana se trasladaba al momento del mediodía y así se obtenía una situación astronómica que era la que se daba por exacta y se eliminaban todas las demás.

En el año 1843 tuvo lugar un suceso que revolucionó la navegación astronómica. El capitán de la marina mercante de los Estados Unidos Thomas H. Summer partió del puerto americano de Galveston, encontrando tiempos duros que le prometían una travesía muy rápida.

Rebasadas las Islas Azores, roló el viento y se encontró con una cerrazón que le impidieron poder situarse. En estas condiciones llegó a la medianoche del 17 de diciembre situándose, por estima, a unas 140 millas del faro de Tuskar. A la mañana siguiente y en una clara entre nubes pudo observar una altura de sol y anotó la hora del cronómetro, como llevaba varios días sin poder situarse, consideró como muy defectuosa su latitud de estima para emplearla en el cálculo.

Determinó la longitud por cronómetro con la latitud errónea estimada encontrando una diferencia de 15 millas más al este del punto de estima, trabajó nuevamente el cálculo con una segunda latitud 10 millas más al norte de la primera, con lo cual incrementó su longitud 27 millas al ENE, en una tercera latitud aumentando 10 millas más al norte le dio otra longitud 27 millas más ENE de la segunda.

Extrañado de las diferencias obtenidas, situó los tres puntos sobre la carta y encontró que estaban sobre una misma recta que prolongada, pasaba por el faro Small. Tuvo en aquel momento el capitán Summer la idea genial de que pudiera ser esta recta el lugar geométrico de la situación de su buque y que le señalaba el recalco y con esta idea gobernó al ENE. Antes de haber transcurrido una hora avistaba el faro por la amura de estribor.

Interesados los centros de investigación científica del mundo entero a los que aportaron su valiosa ayuda astrónomos, se estudiaron las razones técnicas de tan importante hecho, que permitía deducir de una observación un lugar geométrico en la carta en línea recta.

A partir de aquel momento el marino puede situarse en la mar en cualquier momento y lugar del globo gracias a las rectas de altura. Existen muchas tablas que resuelven el problema de hallar los determinantes de la recta de altura con notable rapidez y de modo bien sencillo. Son famosas y muy difundidas las editadas por el Departamento de Hidrografía de los Estados Unidos HO 214 y HO 249 que facilitan el cálculo, hallándose la situación de modo mecánico, fácil y en breves minutos.

Se dice que el Arte de Navegar se aprendió en libros españoles y así tenemos las tablas para el cálculo de las rectas de altura de los autores españoles García-Frías o las de Martínez-Moreu o las de Fernández de la Puente, entre otras.

Luego siguieron más innovaciones y los cronómetros marinos redujeron su tamaño y ganaron en precisión.

En un barco se acostumbraba a llevar tres cronómetros, denominados magistral, acompañante primero y acompañante segundo, según su grado de exactitud. Estos relojes jamás se ponen en hora, sino que se lleva la cuenta de su atraso o adelanto entre la hora marcada y la hora media de Greenwich, a esta diferencia se le llama estado absoluto y puede ser en atraso con lo cual llevan el signo + porque se suma a la hora del cronómetro y signo - si está adelantado porque debe restarse.

Al atraso o adelanto diario que experimenta el cronómetro se le llama movimiento y es condición de todo buen cronómetro que su marcha sea uniforme, con lo cual su movimiento siempre tendrá el mismo signo. Es decir que si un cronómetro atrasa, siempre, bajo cualquier circunstancia, debe atrasar y si adelanta, también, siempre debe adelantar, con lo cual su signo siempre será el mismo.

El estado absoluto y el movimiento pueden ser del mismo o diferente signo. Decimos que un cronómetro está arreglado cuando se han determinado su estado absoluto y su movimiento.

Al hacer una observación tomamos el sextante, por su mango, con la mano derecha y en el hueco de la palma de la mano sostenemos un cronógrafo que pondremos en marcha con el dedo pulgar justo en el momento que hemos tomado la lectura. Al principio puede parecer un poco difícil esta postura de la mano, pero con un poco de práctica rápidamente se llega a dominar esta operación.

Acto seguido, ya en la cámara, tomamos la lectura del cronómetro, empezando por los segundos, luego los minutos y finalmente las horas y simultáneamente paramos el cronógrafo.

A la hora así obtenida, le aplicamos el estado absoluto con su signo, según explicamos antes y hallamos la parte proporcional del movimiento, es decir que si un cronómetro atrasa cada día o sea cada 24 horas, 4 segundos y nuestra observación ha tenido lugar a las 12 horas, la parte proporcional del movimiento será, como es evidente, sólo de 2 segundos.

Una vez corregida la hora de la observación por el estado absoluto y la parte proporcional del movimiento, sumaremos el tiempo que marca el cronógrafo. Efectivamente la observación no ha tenido lugar en el momento que indica la hora anotada sino un momento antes y este momento es el que marca el cronógrafo que pusimos en marcha en el preciso instante de la observación y paramos en el, también, preciso instante en que anotamos los segundos del cronómetro.

Con la retransmisión de las señales horarias vía T.S.H., -telegrafía sin hilo- y más recientemente vía radio y todavía más recientemente vía satélite, podemos disponer de la hora exacta, cuántas veces queramos haciendo que los relojes a bordo ya no sean necesarios, aunque reglamentariamente sea obligatoria su presencia a bordo de un barco como medida de seguridad en caso de fallar los demás sistemas de mantener la hora.

La evolución de la relojería ha sido imparable, pues en unos pocos años a los relojes mecánicos le sucedieron los eléctricos cuyo patrón era la frecuencia de la red eléctrica. Según el Reglamento Técnico de Baja Tensión, las compañías de suministro eléctrico tienen un margen de tolerancia del 7% en la tensión, es decir en la Unión Europea donde la tensión legal es de 230 voltios, las compañías están dentro de norma si el suministro está dentro del margen que va desde los 213,9 voltios hasta los 246,1. Y en lo que respecta a la frecuencia, 50 ciclos, la tolerancia es del 5%, así que un suministro de 47,5 a 52,5 ciclos por segundo está dentro de normas.

Se supone que durante las 24 horas los períodos de 47,5 ciclos se compensan con los de 52,5, pero la exactitud, aceptable en relojes domésticos, los hace totalmente inaceptables para otros usos donde la precisión es vital.

Siguieron los relojes electrónicos donde la vibración de un cristal de cuarzo con una altísima precisión es el patrón de referencia cuya precisión puede estimarse en uno o dos segundos al año.

Esta precisión se aumentó con los relojes digitales que aun cuando conserven el mismo patrón, la oscilación del cristal de cuarzo, la conservación de la hora no es por

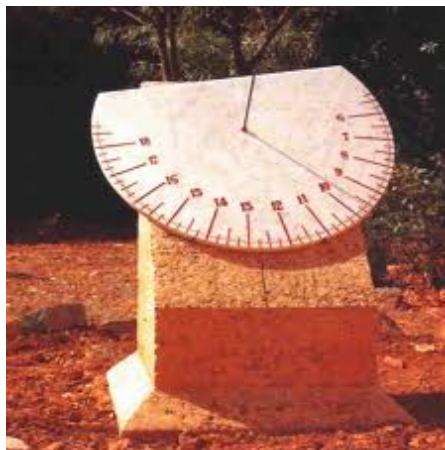
efecto mecánico donde hay piezas en movimiento con el consiguiente rozamiento y desgaste, sino que conserva la hora electrónicamente. Hoy en día cualquier reloj digital de muñeca tiene muchísima más precisión que el mejor cronómetro suizo de hace tan sólo 30 o 40 años por no citar sus prestaciones.

Pero esta altísima precisión no es suficiente para los observatorios y llegamos al reloj atómico, ya que la antigua definición del segundo de la ochenta y seis mil cuadringentésima parte del día, como decíamos más arriba, ha quedado en desuso para ser sustituida por los acuerdos tomados en la 17 Conferencia General de Pesas y Medidas de octubre de 1983 y que define al segundo como:

**La duración de 9.192.631.770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de Cesio 133.**

¿Y este es el punto y final? No. No porque el reloj de sol también ha evolucionado y así, recientemente hemos asistido, sino físicamente, si en espíritu, a la inauguración de un reloj de sol bifilar en la Universidad de les Illes Balears.

Entre las diferentes variedades de relojes de sol, podemos destacar los siguientes:



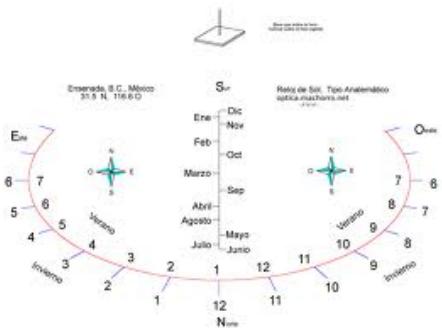
**Ecuatorial:** Sus principales características son que el gnomon que proyecta la sombra es paralelo al eje de rotación de la tierra, está contenido en el plano meridiano del lugar y forma con el plano horizontal un ángulo igual a la latitud del lugar.

El radio que coincide con la intersección del plano meridiano del lugar con el plano del cuadrante en dirección al horizonte determina la recta horaria de las doce. Los diferentes radios están espaciados  $15^{\circ}$  indicando las horas anteriores a las doce los que están al oeste y las horas posteriores a las doce los que está al este.



**Horizontal:** Tiene su plano paralelo al horizonte del lugar y es el que de todas las disposiciones posibles el que cuenta mayor número de horas solares. En la actualidad los relojes de este tipo corresponden a los stilo-axiales, pero antes del siglo XVII eran relojes que indicaban horas temporarias mediante la punta de un orto estílo. Su estudio ha suscitado controversias geométricas de diversa índole. En la actualidad se encuentran en plazas públicas y espacios abiertos como elementos decorativos.

El método constructivo de este tipo de relojes se realizaba con regla y compás y se empleaba el complejo trazado del denominado analema de Vitrubio, procedimiento geométrico para el trazado de las líneas horarias y de las curvas de insolación diurna de los relojes solares, técnicamente es un procedimiento para realizar una proyección gnomónica de los círculos mayores y menores de la esfera celeste.



trabajo se publicó en el año 1922. Su característica más interesante y que lo diferencian de los demás relojes es que la sombra que indica la hora está determinada por el cruce de dos alambres a modo de gnomon independientes y dispuestos horizontalmente, perpendiculares entre sí y paralelo al cuadrante solar del tipo horizontal.

En el reloj de la Universidad de les Illes Balears el gnomon o gnómones está formado por dos cadenas que adoptan una curva natural llamada catenaria y que sirvió de inspiración al arquitecto Christopher Wren cuando en 1676 diseñó la cúpula de la catedral de San Pablo de Londres.

Wren, tenía un gran reto ante sí, pues la cúpula que diseñó tiene 30 metros de diámetro y se halla a una altura de 111,5 metros, siendo la segunda más grande del mundo. La primera, como es conocido, es la cúpula de la Basílica de San Pedro de Roma.

Pensaba Wren en cómo podría resolver el problema de la resistencia mecánica de su famosa cúpula al tiempo que jugaba con la cadena de su reloj, sostenía la cadena con ambas manos, cuando de golpe surgió la inspiración al observar la curva que formaba la cadena, una catenaria.

Así que Wren, no diseñó una sola cúpula, sino que diseñó tres. La interior; la segunda, visible desde la primera a través de un gran ojo; y la tercera, que constituye la envoltura exterior, sostenida por una armadura de madera cuya forma es una curva catenaria invertida.

**Analemático:** Su cuadrante es horizontal elíptico asociado a un gnomon móvil vertical a lo largo del eje menor orientado según la dirección norte-sur.

El cuadrante se construye directamente en el suelo y es el propio observador quien desplazándose hasta unas posiciones en el eje menor de la elipse, según la fecha, hace de gnomon móvil proyectando su sombra sobre la elipse.

**Vertical:** Las rectas horarias de un reloj vertical no declinante se calculan a través de una proyección ortogonal oblicua de las rectas de un reloj ecuatorial sobre un plano vertical.

Estas rectas horarias están uniformemente repartidas con un arco de  $15^{\circ}$  a derecha e izquierda de la recta horaria de las 12 de la mañana. La recta de las 12 está contenida en el plano meridiano del lugar.

**Bifilar:** El diseño original de este reloj se debe al profesor de matemáticas Hugo Michnik cuyo

En el verano del 2009 D. Rafael Soler Gayá, con el patrocinio de la Universitat de les Illes Balears, La Conselleria de Medi Ambient del Govern Balear y el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de les Illes Balears, acometieron la tare del cálculo, diseño y construcción del Reloj Bifilar de la Universitat de les Illes Balears, del que reproducimos unas imágenes.



VISTO DESDE EL SUR



VISTA PARCIAL DE LA MALLA DE LINEAS HORARIAS Y DE DECLINACIÓN. LA INTERSECCIÓN DE LAS SOMBRA DE LAS CADENAS MARCA LAS 10h 5' DEL PRIMER DE AGOSTO EN TIEMPO VERDADERO



LOGOS DE LOS TRES PATROCINADORES



VISTA AÉREA

Para leer el reloj seguiremos las explicaciones de su constructor D. Rafael Soler.

Obsérvese el punto donde se cortan las sombras de las dos cadenas. Este punto da: a) en el haz de líneas horarias la hora verdadera local, y b) en el haz del calendario la fecha del día de lectura estimado –siguiendo la dirección de la línea horaria– entre las más próximas correspondientes a las líneas de cambio de mes zodiacal; sobre estas se encuentran las correcciones a introducir, sumando (+: el reloj de sol retrasa) o restando (-: el reloj de sol adelanta), para convertir la hora leída en hora media de Greenwich (la de nuestros relojes de pulsera sumando una o dos horas según la estación por disposición gubernativa).

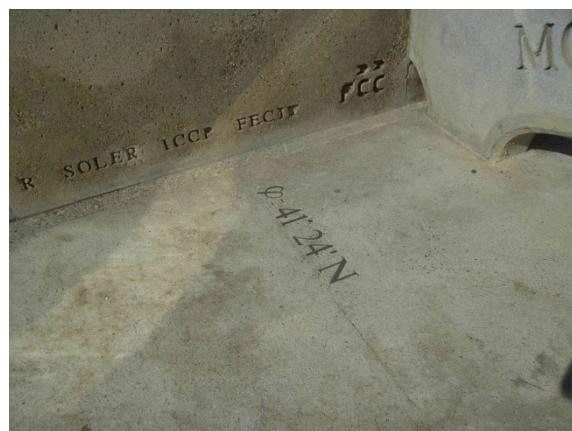
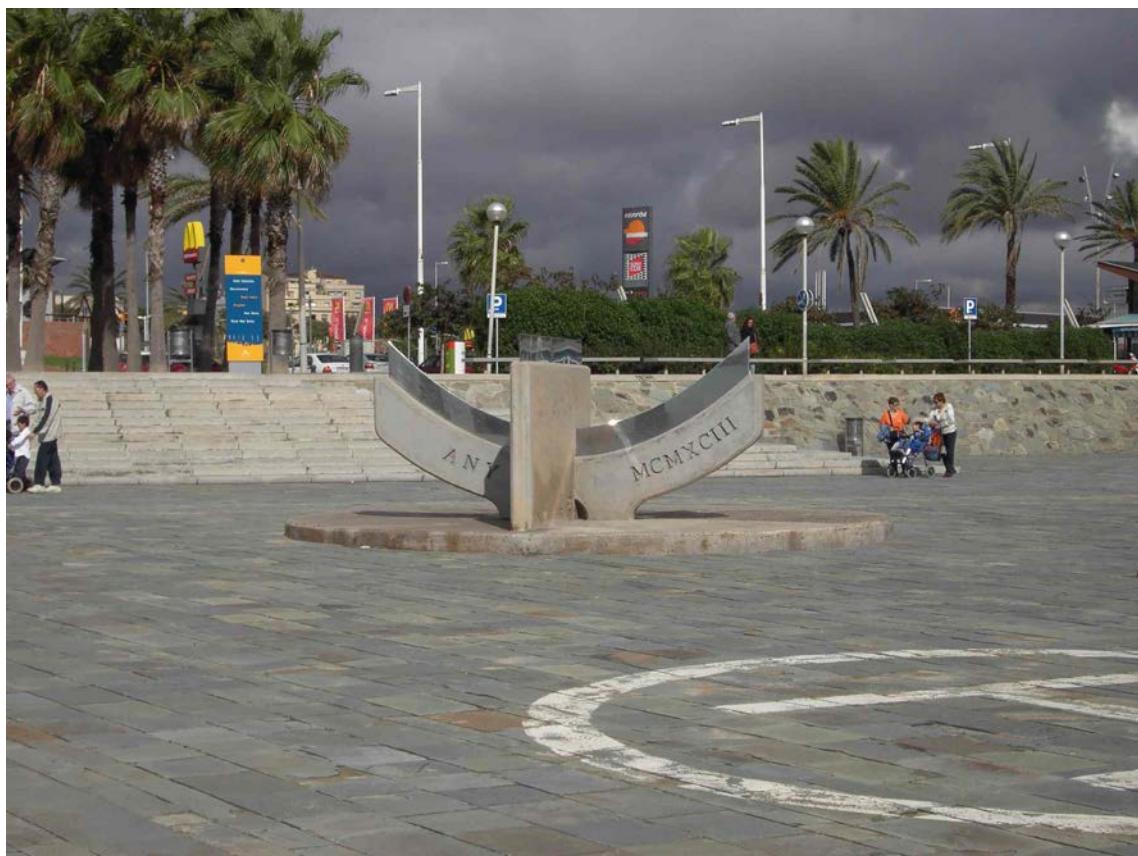
Como es usual en muchos relojes de sol se ha dispuesto una leyenda, en este caso latina, que reza TEMPORA TEMPORE TEMPORA cuya traducción libre pudiera ser “Organiza las épocas (tiempos determinados) a tiempo”.

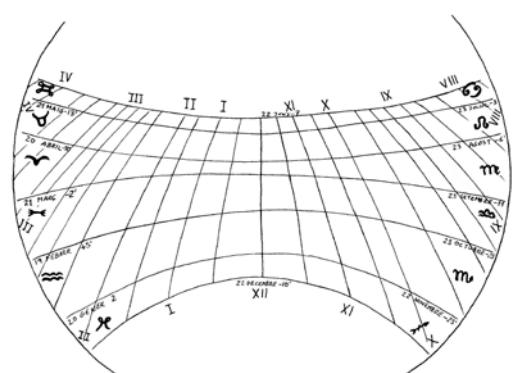
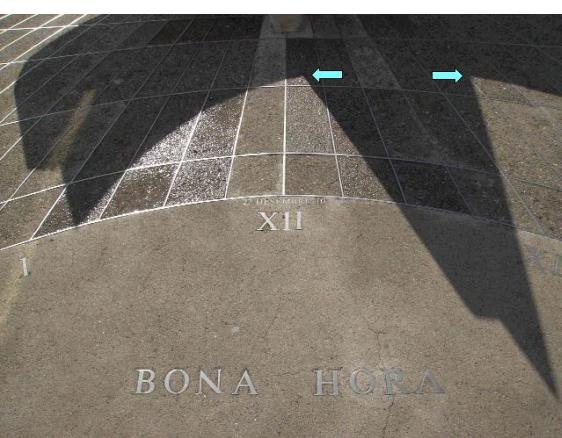
Bajo el patrocinio del Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente juntamente con el Ayuntamiento de Barcelona, en 1993 un año después de los Juegos

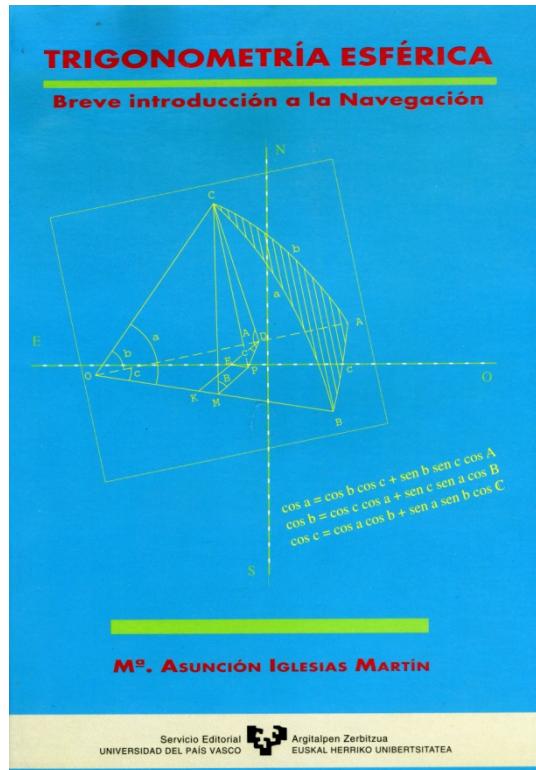
Olímpicos, celebrados en Barcelona en 1992, D. Rafael Soler Gayá, diseño el reloj de sol bifilar de la playa del Bogatell i Nova Icària.

Con una base circular de casi siete metros, este reloj no sólo da la hora, sino que también sirve de calendario de meses zodiacales

Como reloj de sol bifilar la hora exacta viene determinada por el punto de corte de las dos sombras que se mueven en la superficie del reloj en el transcurso del día. Los elementos que marcan las sombras son una recta horizontal orientada en la dirección norte-sur situada a dos metros de altura y una parábola de dirección este-oeste con un vértice a un metro de altura.







La inscripción del reloj de sol del Bogatell dice: "Temps Vertader" que podemos traducir por "Tiempo Verdadero"

Para aquellos que estén interesados en construirse su propio reloj bifilar de sol, pueden entrar en el siguiente blog donde su autor, expone la teoría, y hace un paso a paso muy detallado

<http://sudandolagorda.blogspot.com.es/2010/05/el-reloj-de-sol-bifilar.html>

Y los que quieran ir un poco más lejos calculando su propio reloj de sol y tengan un poco oxidada la Trigonometría Esférica, en el libro de María Asunción Iglesias Martín, profesora de Algebra Lineal y Trigonometría Esférica de la Escuela Superior de Marina Civil de Bilbao, encontrarán todas las fórmulas necesarias.

Saludos y como de costumbre a vuestra disposición.